

Tinjauan Sistematis Sistem Prediksi Detak Jantung Secara Nirkontak

Systematic Review of Non-contact Heart Rate Prediction Systems

Hendra Setiawan^{1*}, Isnatin Miladiyah², Satyo Nuryadi³

¹Teknik Elektro, Universitas Islam Indonesia

²Pendidikan Dokter, Universitas Islam Indonesia

Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia, Jl. Kaliurang km 14,5, Daerah Istimewa Yogyakarta

³Teknik Elektro, Universitas Teknologi Yogyakarta

Jl. Ring Road Utara, Jombor, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta

hendra.setiawan@uii.ac.id^{1*}, isnatin@uii.ac.id², satyo.nuryadi@uty.ac.id³

Abstrak - Perkembangan penelitian tentang prediksi data rekam jantung secara nirkontak semakin marak. Banyak metode yang ditawarkan dengan berbagai macam keunggulan dan keterbatasannya. Kajian komprehensif tentang topik ini nampaknya menarik untuk dimunculkan ke permukaan. Melalui makalah ini tinjauan sistematis atas perkembangan teknologi rekam jantung secara nirkontak disajikan. Metode tinjauan sistematis meliputi pencarian literatur terkait, metode yang digunakan, unjuk kerja yang diperoleh, keunggulan dan keterbatasan yang dimilikinya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode rekam jantung secara nirkontak secara umum dapat dikelompokkan ke dalam 4 (empat) kelompok, yaitu berbasis elektroda nirkontak, berbasis pengolahan citra, memanfaatkan efek dopler sinyal radar dan menggunakan efek dopler gelombang ultrasonik. Hasil kajian yang kami lakukan mendapatkan kesimpulan bahwa prediksi detak jantung berbasis pengolahan citra memiliki aspek terbaik untuk konsep deteksi nirkontak. Sehingga pengembangan keilmuan di bidang tersebut lebih direkomendasikan

Kata Kunci : detak jantung, nirkontak, elektroda, pengolahan citra, radar, ultrasonic

Abstract- The development of research on non-contact heart rate data prediction is increasing. Many methods are offered with various advantages and limitations. A comprehensive review of this topic seems interesting to bring to the surface. Through this paper, a systematic review of the development of non-contact heart rate recording technology is presented. The systematic review method includes related literature search, methods used, obtained performance, advantages, and limitations. The research results show that non-contact heart rate recording methods can generally be categorized into 4 groups: non-contact electrode-based, image processing-based, utilizing Doppler radar signal effects, and using Doppler effects of ultrasonic waves. The results of our study conclude that image processing-based heart rate prediction has the best aspects for non-contact detection concepts. Therefore, scientific development in this field is highly recommended.

Keywords : heart rate, non-contact, electrode, image processing, radar, ultrasonic.

1. Pendahuluan

Diperkirakan sekitar 17,9 juta orang meninggal akibat penyakit kardiovaskular (CVD) pada tahun 2019, yang setara dengan 32% dari seluruh kematian global. Dari kematian tersebut, 85% disebabkan oleh serangan jantung dan stroke [1]. Risiko penyakit jantung meningkat dengan cepat setelah usia 65 tahun. Oleh karena itu, pentingnya perawatan kesehatan untuk pencegahan penyakit jantung semakin diperlukan terlebih diperkirakan 1 dari 6 orang akan berusia 60 tahun keatas di tahun 2030 [2].



Penyakit jantung dapat didiagnosis dan dicegah secara dini melalui pemeriksaan medis secara rutin. Pemeriksaan yang paling umum digunakan untuk diagnosis dini penyakit jantung adalah dengan metode elektrokardiogram (EKG) [3]. Pemeriksaan EKG melibatkan pemasangan sejumlah elektroda pada tubuh untuk merekam perbedaan potensial yang terkait dengan detak jantung. Tes ini lebih ekonomis daripada metode diagnostik lainnya seperti echocardiography, computed tomography, dan magnetic resonance imaging [4]. Namun, metode pengukuran biometrik tradisional ini tidak nyaman karena adanya beberapa elektroda yang ahrus terpasang di tubuh [4] [5].

Selain untuk pemeriksaan kesehatan jantung, sinyal rekam jantung juga dapat digunakan untuk keperluan deteksi lainnya, diantaranya deteksi stress [6] [7], monitoring kualitas tidur [8] [9], deteksi tingkat kelelahan [10], dan deteksi kantuk pada pengendara [11]. Dengan beberapa aplikasi tersebut maka kebutuhan alat rekam sinyal jantung yang handal, portabel dan nyaman sangatlah diperlukan. Berbeda dengan metode EKG konvensional yang memerlukan pemasangan elektroda, terdapat beberapa metode perekaman sinyal jantung tanpa memerlukan pemasangan elektroda. Sistem tersebut kemudian dikenal dengan sistem rekam jantung nirkontak (*contactless*). Telah banyak penelitian yang dilakukan untuk mengembangkan sistem EKG nirkontak dengan berbagai metode dan algoritma yang diusulkan. Sehingga tinjauan sistematis terkait dengan berbagai sistem EKG nirkontak ini perlu dilakukan dalam rangka memberikan informasi yang lengkap sehingga dapat membantu pengembangan keilmuan di bidang biomedis.

Bahasan selanjutnya dalam makalah ini adalah metode penelitian. Pada metode penelitian dijelaskan sinyal rekam jantung beserta beberapa parameter yang diperoleh dari sinyal tersebut, dan dilanjutkan dengan metode pengumpulan artikel. Bagian selanjutnya adalah hasil dan pembahasan yang menyajikan hasil kajian masing-masing artikel yang diperoleh. Unsur utama yang dibahas dalam bagian tersebut meliputi jenis deteksi yang digunakan, kelebihan dan kekurangannya. Selanjutnya kesimpulan dari hasil pembahasa disajikan di bagian terkahir makalah ini.

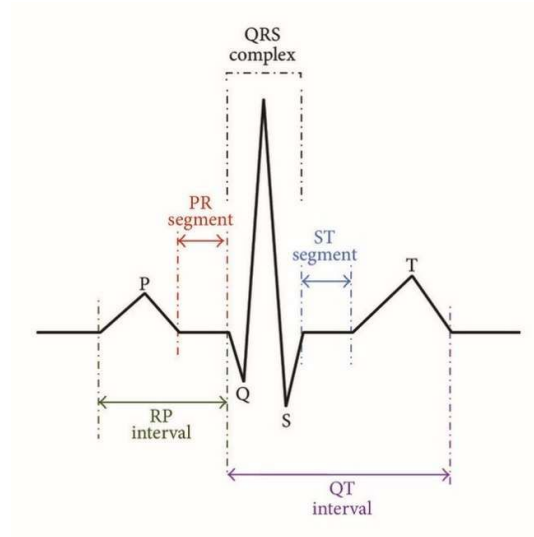
2. Metode Penelitian

Bagian ini meliputi dua bahasan utama yaitu terkait dengan sinyal EKG dan metode yang dilakukan untuk memperoleh artikel yang akan dilibatkan dalam tinjauan sistematis.

2.1. Sinyal Rekam Jantung

Sinyal EKG adalah rekaman dari aktivitas listrik jantung. Ini terdiri dari serangkaian gelombang-gelombang yang merepresentasikan berbagai tahap dalam siklus jantung. Sinyal ini dibuat oleh elektroda yang ditempatkan pada kulit pasien dan mengukur perubahan potensial listrik yang terjadi selama depolarisasi dan repolarisasi jantung [12]. Sinyal EKG terdiri dari tiga gelombang dasar [13], yaitu gelombang P, gelombang QRS dan T, sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 1.

Gelombang P menggambarkan proses depolarisasi pada atrium kanan dan kiri. Ini terjadi ketika impuls listrik disalurkan dari simpul sinoatrial ke atrioventrikular dan merambat dari atrium kanan ke atrium kiri. Interval PR adalah ukuran waktu dari permulaan kontraksi atrium sampai permulaan kontraksi ventrikel. Gelombang QRS terdiri dari tiga komponen: gelombang Q, R, dan S. Pola gelombang ini terbentuk ketika impuls listrik melalui otot ventrikel jantung yang bertugas memompa darah ke seluruh tubuh. Gelombang ini biasanya menjadi bagian yang paling kuat dan mendominasi pada hasil EKG. Gelombang T merepresentasikan proses repolarisasi atau pemulihan kembali ke kondisi awal dari ventrikel jantung setelah depolarisasi. Ini adalah fase ketika ventrikel bersiap untuk menerima impuls listrik berikutnya untuk siklus jantung berikutnya.



Gambar 1. Bentuk gelombang P, QRS, dan T normal [14]

Pada sinyal EKG yang diperoleh terdapat beberapa parameter dasar yang dapat secara langsung diketahui, yaitu:

- Frekuensi jantung, yaitu jumlah denyut jantung per menit (beat per minutes = bpm)
- Interval RR, yaitu jarak antara dua kompleks QRS berturut-turut
- Interval PR, yaitu waktu yang diperlukan untuk impuls listrik berjalan dari atrium (serambi) ke ventrikel (bilik)
- Interval QT, yaitu waktu dari depolarisasi atrium hingga repolarisasi ventrikel
- Segmen ST, yaitu periode antara akhir depolarisasi ventrikel (akhir kompleks QRS) dan awal repolarisasi ventrikel (awal gelombang T)

Selain parameter tersebut, terdapat beberapa parameter turunan lainnya yang dapat dihitung berdasarkan parameter dasar untuk N data, diantaranya: Gambar 1.

- Rata-rata interval RR ($meanRR$), yang dinyatakan dengan

$$meanRR = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N RR_i \quad (1)$$

dengan RR_i adalah interval RR saat i .

- Standar deviasi interval RR ($SDRR$), yang dinyatakan dengan

$$SDRR = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (RR_i - meanRR)^2}{N}} \quad (2)$$

- Koefisien varian interval RR ($CVRR$), yang dinyatakan dengan

$$CVRR = \frac{SDRR}{meanRR} \quad (3)$$

- Akar Kuadrat dari Perbedaan Kuadrat interval RR yang Berdekatan ($RMSSD$), yang dinyatakan dengan

$$RMSSD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (RR_{i+1} - RR_i)^2}{N}} \tag{4}$$

- e. Jumlah interval RR berturutan yang memiliki perbedaan lebih dari xx milisecond ($NNxx$), yang dinyatakan dengan

$$NNxx = count(|RR_{i+1} - RR_i|)_{>xxms} \tag{5}$$

- f. Persentase jumlah interval RR berturutan yang memiliki perbedaan lebih dari xx milisecond ($pNNxx$), yang dinyatakan dengan

$$pNNxx = \frac{count(|RR_{i+1} - RR_i|)_{>xxms} \times 100\%}{n-1} \tag{6}$$

2.2. Metode Pengumpulan Data

Proses pengumpulan artikel yang akan dibahas pada tinjauan sistematis ini adalah artikel yang berasal dari jurnal internasional atau seminar internasional yang membahas tentang metode deteksi sinyal jantung yang minimal mampu mengukur frekuensi detak jantung. Artikel dicari di pangkalan data google scholar dengan kata kunci “*non-contact ECG*” dan “*contactless ECG*”. Artikel dibatasi pada periode terbit 2019 sampai dengan 2023. Hasil penelusuran diperoleh sebanyak 10200 artikel yang memuat “*non-contact ECG*” pada judulnya, dan artikel sebanyak 6370 artikel yang memuat “*contactless ECG*” pada judulnya. Selanjutnya kami seleksi kembali dengan beberapa kriteria diantaranya (a) artikel yang berasal dari jurnal dan prosiding internasional, (b) dapat diakses, dan (c) artikel lengkap. Setelah proses seleksi akhirnya dipilih 27 artikel yang akan dilibatkan di dalam pembahasan selanjutnya. Artikel tersebut sebagian besar berasal dari penerbit IEEE dan MDPI.

Total 27 artikel yang terkumpul terkait dengan deteksi EKG secara nirkontak, dapat digolongkan ke dalam empat kelompok, yaitu (1) menggunakan elektrode nirkontak, (2) menggunakan pengolahan citra, (3) menggunakan konsep radar, dan (4) menggunakan gelombang ultrasonik. Artikel yang masuk kelompok-1 adalah 12, artikel yang masuk kelompok-2 adalah 6, dan artikel yang masuk kelompok-3 dan kelompok-4 secara berurutan 5 dan 4 artikel. Daftar artikel lengkap berdasarkan pembagian kelompok disajikan dalam tabel 1 berikut ini. Kajian lebih lanjut akan dipaparkan di bagian berikutnya.

Tabel 1. Daftar artikel yang membahas EKG nirkontak

Judul	Tahun	Penerbit	Ref
Kelompok-1: menggunakan elektrode nirkontak			
Capacitive Coupled Electrodes based Non-contact ECG Measurement System with Real-time Wavelet Denoising Algorithm	2019	IEEE	[15]
Electrodes array for contactless ECG measurement of a bathing person - a sensitivity analysis	2019	IEEE	[16]
Feasibility Study on Fabric-Sheet Unified Sensing Electrode for Non-Contact In-Bed Measurements of ECG, Body Proximity and Respiratory Movement	2019	MDPI	[17]
Comparison of Active Electrode Materials for Non-Contact ECG Measurement	2019	MDPI	[18]
Development of a Non-Contact ECG Application Unobtrusively Embedded into a Bed	2019	IEEE	[19]
Non-contact ECG Monitoring for Driver	2020	IEEE	[20]
Non-contact Capacitive ECG Signal Acquisition Using an Electrode Array	2021	IEEE	[21]
Analysis of a Contactless ECG Monitoring System	2021	Taylor&Francis	[22]
Design of Contactless Capacitive Electrocardiogram (ECG) Belt System	2022	IEEE	[23]

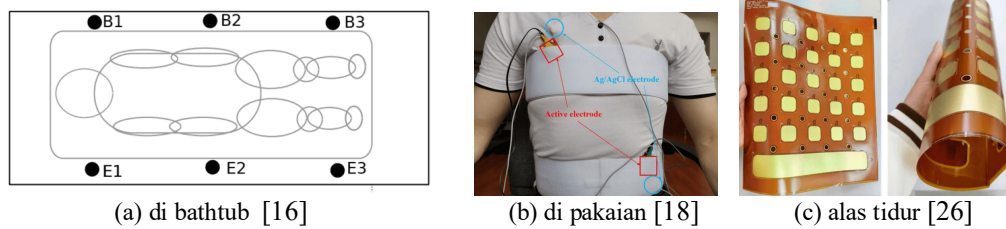
Judul	Tahun	Penerbit	Ref
Development of Contactless Dry ECG Electrodes for Long-Term Monitoring	2022	IEEE	[24]
Non-Contact Monitoring of ECG in the Home Environment Selecting Optimal Electrode Configuration	2022	MDPI	[25]
A highly integrated flexible array non-contact ECG sensing electrode based on FPC	2023	IEEE	[26]
Kelompok-2: menggunakan pengolahan citra			
Non-contact Heart Rate Monitoring Analysis from Various Distances with different Face Regions	2017	IAES	[27]
Bounded Kalman filter method for motionrobust, non-contact heart rate estimation	2018	OSA	[28]
Non-Contact Heart Rate and Blood Pressure Estimations from Video Analysis and Machine Learning Modelling Applied to Food Sensory Responses: A Case Study for Chocolate	2018	MDPI	[29]
Non-contact heart rate monitoring by combining convolutional neural network skin detection and remote photoplethysmography via a low-cost camera	2018	IEEE	[30]
Non-Contact Heart Rate Measurement From Facial Video Data Using a 2D-VMD Scheme	2022	IEEE	[31]
Kelompok-3: menggunakan konsep radar			
Vital Signs Detection Based On Millimeter Wave Radar	2020	IEEE	[32]
The Delineation of Fiducial Points for Non-contact Radar	2020	IEEE	[33]
Seismocardiogram Signals without Concurrent ECG			
Development of a heart rate detection algorithm using a non-contact doppler radar via signal elimination	2021	Elsevier	[34]
Non-Contact Heart Rate Monitoring Based on Millimeter Wave Radar	2022	IEEE	[35]
ECG Signal Reconstruction Using FMCW Radar and a Convolutional Neural Network for Contactless Vital-Sign Sensing	2023	IEICE	[36]
Kelompok-4: menggunakan gelombang ultrasonik			
Design and Clinical Evaluation of a Non-Contact Heart Rate Variability Measuring Device	2017	MDPI	[37]
Relative accuracy of computerized intrapartum fetal heart rate pattern recognition by ultrasound and abdominal electrocardiogram detection	2019	John Wiley & Sons	[38]
Fetal Heart Rate Monitoring Implemented by Dynamic Adaptation of Transmission Power of a Flexible Ultrasound Transducer Array	2019	MDPI	[39]
A Multi-Channel Ultrasound System for Non-Contact Heart Rate Monitoring	2020	IEEE	[40]

3. Hasil dan Pembahasan

Pada bagian ini akan diuraikan metode yang digunakan pada masing-masing kelompok deteksi EKG secara nirkontak. Selain itu juga dijelaskan capaian yang telah diperoleh di masing-masing kelompok.

3.1. Elektroda Kapasitif

Metode ini adalah mirip dengan pengukuran EKG konvensional namun elektroda yang biasanya ditempelkan di kulit digantikan dengan sensor elektrode yang tidak bersentuhan langsung dengan kulit. Elektrode tersebut dapat diletakkan di kain baju [15] [17] [18] [20] [24], *bathtub* ketika mandi [16], kain sprei saat tidur [17], bagian dari alas tidur [19] [21] [26], sabuk [23], kancing [24], dan di kursi [25]. Beberapa gambar penempatan elektroda ini ditunjukkan pada Gambar 2.



(a) di bathtub [16] (b) di pakaian [18] (c) alas tidur [26]
 Gambar 2. Beberapa contoh penempatan elektroda yang tidak menyentuh kulit secara langsung

Elektroda yang digunakan adalah elektroda kapasitif. Prinsip kerja elektroda kapasitif didasarkan pada kapasitansi yang terjadi antara elektroda dan kulit saat ada perubahan potensial listrik di permukaan kulit. Bahan yang digunakan pada umumnya terdiri dari 3 lapisan, yaitu bahan kain konduktif, pita foil tembaga dan rangkaian cetak fleksibel (*flexible printed circuit* = FPC). Untuk meningkatkan kualitas sinyal yang dihasilkan, diperlukan tambahan rangkaian berupa penguat instrumentasi, rangkaian filter, serta *shielding* dan *guarding* untuk meminimalkan gangguan dari luar.

Sinyal EKG hasil pembacaan dengan metode ini memiliki nilai akurasi yang cukup tinggi, yaitu lebih dari 90% dibandingkan dengan metode elektrode Ag/AgCl konvensional. Hal ini membuat metode ini diminati untuk pengembangan kedepan yang dapat disematkan pada berbagai media yang biasanya digunakan oleh pasien. Namun metode ini memiliki kelemahan berupa gangguan luar yang masih cukup besar terutama apabila kondisi pasien banyak bergerak. Selain itu pengiriman sinyal secara nirkabel memerlukan sumber energi listrik yang tentu saja ketika disematkan bersamaan dengan elektroda menjadi kurang nyaman bagi pasien.

3.2. Pengolahan Citra Wajah

Teknik akuisisi sinyal EKG secara nirkontak lainnya adalah dengan menggunakan perekaman video wajah manusia yang dikenal sebagai *remote photoplethysmogram* (rPPG) [27-31]. Sinyal *photoplethysmograph* (PPG) dihitung berdasarkan intensitas piksel tertentu yang sebelumnya dipisahkan dahulu dari pencahayaan lingkungan dengan menggunakan *filtering* dan metode tambahan lainnya. Biasanya, video yang direkam menjadi terkontaminasi akibat variasi pencahayaan cahaya lingkungan, artefak gerakan, dan faktor lingkungan lainnya. Sehingga diperlukan metode khusus untuk mengatasinya diantaranya menggunakan *Independent Component Analysis* (ICA) [27], algoritma blur identification and denoising [28], *machine learning* [29], atau *convolutional neural network* (CNN) [30], dan *2D variational mode decomposition* (2D-VMD) [31].

Semua sistem deteksi EKG dengan deteksi sinyal PPG ini memiliki keterbatasan pada jumlah subyek yang diamati yaitu hanya satu orang saja. Selain itu jarak subyek harus dekat dengan kamera, yaitu 4 kaki [28] sampai paling jauh 5 meter [27]. Kamera yang digunakan juga bervariasi, ada yang menggunakan kamera *low end* [30], sampai menggunakan kamera khusus [31]. Dari hasil penelitian tersebut juga diperoleh nilai estimasi detak jantung yang cukup tinggi yaitu mencapai 94% [27] atau 1 *beats per minute* [30].

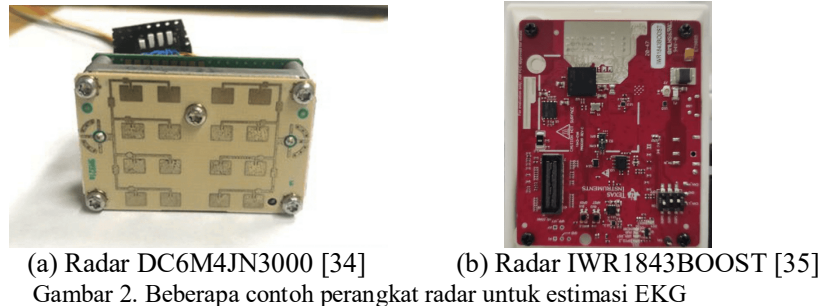
3.3. Gelombang Radar

Sistem radar atau radio detection and ranging merupakan suatu sistem untuk memperkirakan jarak suatu obyek dengan menggunakan pantulan gelombang elektromagnetik. Konsep ini ternyata dapat digunakan pula untuk mendeteksi detak jantung, yaitu dengan mendeteksi perubahan posisi permukaan kulit di sekitar dada. Pada kajian yang kami lakukan, terdapat dua jenis radar yang dapat digunakan untuk keperluan tersebut, yaitu *continues wave* (CW) [33] [34], dan *frequency modulation continues wave* (FMCW) [32] [35][36]. Sedangkan frekuensi

gelombang yang digunakan di orde GHz, yaitu di 5,8GHz [33], 24GHz [34], atau 77-81GHz [35] [36].

Akurasi yang diperoleh dengan metode ini sangat tergantung dari posisi subyek yang diamati, namun secara umum dengan kondisi subyek yang tenang dan berada tepat di depan radar, maka minimal 90% akurasi dapat diperoleh, bahkan dengan tambahan filter yang baik dan kemampuan menghilangkan sinyal derau dapat menaikkan akurasi sampai dengan 97,8% [34].

Salah satu masalah yang dihadapi dalam metode ini adalah apabila subyek yang diamati tidak berada tepat di depan antena radar atau pada jarak di atas 5 meter, maka nilai akurasi turun dengan nilai yang cukup berarti. Selain itu belum ada bukti yang akurat pada metode ini apabila diterapkan untuk jumlah subyek yang lebih dari satu. Kelebihan metode ini adalah perangkat yang digunakan betul-betul tidak bersentuhan langsung dengan subyek. Perangkat sistem radar juga tergolong kecil dan portable sehingga mudah dibawa kemana-mana. Beberapa contoh sistem radar untuk keperluan deteksi EKG ini ditunjukkan pada gambar 3.



3.4. Gelombang Ultrasonik

Seperti pada gelombang radar, gelombang ultrasonik dapat punya digunakan sebagai media estimasi sinyal EKG sebagaimana yang dilakukan oleh [37] - [40]. Konsep yang digunakan sama dengan sistem radar yaitu dengan memanfaatkan efek dopler dari pantulan sinyal yang mengenai subyek yang diamati. Pada umumnya frekuensi 40kHz digunakan pada sistem ini. Untuk meningkatkan unjukkerja sistem ini, pada [37] digunakan dua frekuensi berbeda yaitu 40kHz dan 39kHz, sedangkan pada [39] menggunakan 37 elemen transduser, dan pada [40] menggunakan strategi multi kanal. Dengan strategi tersebut akurasi deteksi detak jantung mencapai lebih dari 90% dan *mean absolute error* (MAE) mencapai 0,02 *beats per minute* (bpm) [40].

Sebagaimana pada sistem yang menggunakan radar, penggunaan gelombang ultrasonik juga memiliki kelemahan berupa sangat terpengaruh dengan aktivitas subyek yang diamati. Sehingga penerapan gelombang ultrasonik dilakukan dengan posisi subyek berbaring dan tanpa beraktivitas. Adapun posisi sensor diletakkan pada jarak dekat (20-25 cm) terhadap leher subyek. Pengamatan untuk jumlah subyek lebih dari satu secara bersamaan juga belum terbukti bekerja pada sistem nirkontak dengan menggunakan gelombang ultrasonik.

3.5. Diskusi

Dari hasil kajian yang telah dilakukan sebelumnya, pada bagian ini kami mencoba rangkum karakteristik masing-masing metode untuk deteksi sinyal EKG secara nirkontak. Aspek yang dimunculkan melingkupi: (1) nirkontak pada perangkat, (2) akurasi, (3) kebebasan/keleluasaan gerak subyek, dan (4) kemungkinan deteksi multi subyek sekaligus. Rangkuman tersebut disajikan dalam Tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Perbandingan metode deteksi EKG secara nirkontak

Aspek	Elektroda nirkontak	Pengolahan citra wajah	Konsep radar	Gelombang ultrasonik
Nirkontak perangkat	Elektroda perlu disematkan pada tempat yang dekat dengan jantung (beberapa centimeter)	Tanpa ada perangkat yang perlu dekat dengan subyek (beberapa meter)	Tanpa ada perangkat yang perlu dekat dengan subyek (beberapa meter)	Posisi perangkat perlu agak dekat dengan subyek (20-25 cm)
	Perangkat memerlukan sumber daya listrik yang juga disematkan pada tempat yang sama	Kamera dapat menangkap wajah subyek	Perangkat antena berhadapan dengan dada subyek	Tranduser ultrasonik dekat dengan leher subyek
Akurasi	>90%	>90%	>90%	>90%
Kebebasan gerak subyek	Subyek bebas bergerak, namun akurasi menurun dan agak terganggu karena tambahan perangkat baterai, dan pemancar yang disematkan bersamaan dengan elektroda	Bebas bergerak namun harus tetap menghadap kamera	Tidak banyak bergerak	Tidak banyak bergerak
Deteksi multi subyek	Sangat dimungkinkan, karena masing-masing subyek disematkan elektroda yang berbeda	Ada kemungkinan mendeteksi multi subyek menggunakan satu kamera	Ada kemungkinan mendeteksi multi subyek menggunakan satu antena radar	Tidak dimungkinkan karena posisi tranduser yang dekat dengan leher subyek

Berdasarkan rangkuman Tabel 2, diketahui bahwa metode prediksi EKG dengan kamera nampaknya cukup ideal diterapkan untuk kriteria sistem nirkontak. Namun akan lebih ideal lagi jika ia punya kemampuan deteksi tidak hanya di area wajah saja, sehingga subyek tidak perlu menghadap ke kamera. Selain itu perlu dikaji kemungkinan algoritma deteksi untuk jumlah subyek lebih dari satu, karena sangat dimungkinkan kamera dapat menangkap multi subyek secara bersamaan.

4. Kesimpulan

Pada artikel ini kami telah menelusuri berbagai sumber ilmiah terkait dengan estimasi sinyal EKG secara nirkontak dengan berbagai metode. Terdapat empat jenis metode yang dapat digunakan, yaitu elektroda nirkontak, pengolahan citra, konsep radar dan gelombang ultrasonik. Masing-masing metode mempunyai kelebihan dan kekurangan. Namun berdasarkan kriteria nirkontak yang kami rumuskan, metode dengan menggunakan pengolahan citra dari kamera nampaknya memiliki potensi yang paling unggul. Sehingga pengembangan dan pendalaman prediksi sinyal EKG secara nirkontak dengan menggunakan pengolahan citra perlu diintensifkan.

Ucapan Terima Kasih

Kegiatan penelitian ini didukung dari hibah penelitian dasar Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi No. 181/E5/PG.02.00.PL/2023; 0423.1/LL5-INT/AL.04/2023.

Referensi

- [1] WHO, "Cardiovascular diseases (CVDs)," World Health Organization, 11 June 2021. [Online]. Available: [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-\(cvds\)](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-(cvds)). [Diakses 28 September 2023].
- [2] WHO, "Ageing and health," World Health Organization, 1 October 2022. [Online]. Available: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ageing-and-health>. [Diakses 29 September 2023].
- [3] M. AlGhatrif dan J. Lindsay, "A brief review: history to understand fundamentals of electrocardiography," *Journal of community hospital internal medicine perspectives*, vol. 2, no. 1, pp. 1-5, 2012.
- [4] O. S. Hoon, S. Lee, S. M. Kim dan J. H. Jeong, "Development of a heart rate detection algorithm using a non-contact doppler radar via signal elimination," *Biomedical Signal Processing and Control*, vol. 64, p. 102314, 2021.
- [5] D. Shuqin, Y. Zhang, C. Ma, C. Zhu, Z. Gu, Q. Lv, B. Zhang, C. Li dan L. Ran, "Doppler cardiogram: A remote detection of human heart activities," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 68, no. 3, pp. 1132-1141, 2019.
- [6] A. Sahroni, I. Miladiyah dan N. Widiastara, "Short-term Pulse Rate Variability to Assess Psychophysiological Changes during Online Trier Social Stress Test (TSST)," dalam *44th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC)*, Scotland, United Kingdom, 2022.
- [7] A. Sahroni, N. Widiastara, I. Miladiyah dan H. Setiawan, "Short-Term Pulse Rate Variability to Measure Changes in Emotion during Trier Social Stress Test," dalam *9th International Conference on Information Technology, Computer, and Electrical Engineering (ICITACEE)*, Semarang, Indonesia, 2022.
- [8] Z. Chen, F. Tian, Q. Zhao dan B. Hu, "A Non-contact and unconstrained sleep health monitoring system," dalam *Human Centered Computing: 5th International Conference, HCC 2019*, Čačak, Serbia, 2019.
- [9] M.-M. Adrián, G. C. Gutiérrez-Tobal, L. Kheirandish-Gozal, F. Vaquerizo-Villar, D. Álvarez, F. D. Campo, D. Gozal dan R. Hornero, "Heart rate variability as a potential biomarker of pediatric obstructive sleep apnea resolution," *Sleep*, vol. 45, no. 2, pp. 1-9, 2022.
- [10] K. Lu, A. S. Dahlman, J. Karlsson dan S. Candefjord, "Detecting driver fatigue using heart rate variability: A systematic review," *Accident Analysis & Prevention*, vol. 178, p. 106830, 2022.
- [11] S. Arefnezhad, A. Eichberger, M. Frühwirth, C. Kaufmann, M. Moser dan I. V. Koglbauer, "river monitoring of automated vehicles by classification of driver drowsiness using a deep convolutional neural network trained by scalograms of ECG signals," *Energies*, vol. 15, no. 2, p. 480, 2022.
- [12] A. Jaenal dan E. Usada, *Elektronika Biomedik – Pembahasan Sinyal dan Citra Elektrokardiografi (EKG)*, Lentera, 2019.
- [13] I. Fahrudi, "Mengurangi Pengaruh Noise Baseline Wander pada Sinyal Electrocardiogram (ECG)," *urnal Integrasi*, vol. 5, no. 1, pp. 10-14, 2013.
- [14] H. Beyramienanlou dan N. Lotfivand, "Shannon's energy based algorithm in ECG signal processing," *Computational and mathematical methods in medicine*, vol. 2017, 2017.
- [15] S. Peng, S. Bao dan W. Chen, "Capacitive Coupled Electrodes based Non-contact ECG," dalam *41st annual international conference of the IEEE engineering in medicine and biology society (EMBC)*, Berlin, Germany, 2019.
- [16] K. Osinski, A. Bujnowski, P. Przystup dan J. Wtorek, "Electrodes array for contactless ECG measurement of a bathing person-a sensitivity analysis," dalam *41st annual international conference of the IEEE engineering in medicine and biology society (EMBC)*, Berlin, Germany, 2019.
- [17] Y. Sakajiri dan A. Ueno, "Feasibility Study on Fabric-Sheet Unified Sensing Electrode for Non-Contact In-Bed Measurements of ECG, Body Proximity and Respiratory Movement," dalam *7th International Symposium on Sensor Science*, 2019.

- [18] S. Peng, K. Xu dan W. Chen, "Comparison of Active Electrode Materials for Non-Contact ECG Measurement," *Sensor*, vol. 19, no. 16, p. 3585, 2019.
- [19] S. Pehr, D. Zollitsch, J. Güttler dan T. Bock, "Development of a Non-Contact ECG Application Unobtrusively Embedded into a Bed," dalam *IEEE Sensors Applications Symposium (SAS)*, Sophia Antipolis, France, 2019.
- [20] M. Stork dan J. Houzar, "Non-contact ECG Monitoring for Driver," dalam *30th International Conference Radioelektronika (RADIOELEKTRONIKA)*, Bratislava, Slovakia, 2020.
- [21] Z. Xiao, Y. Xing, Y. Li, C. Yang, J. Li dan C. Liu, "Non-contact Capacitive ECG Signal Acquisition Using an Electrode Array," dalam *2021 International Conference on Sensing, Measurement & Data Analytics in the era of Artificial Intelligence (ICSMD)*, Nanjing, China, 2021.
- [22] K. Anurudhya dan N. M. Mohan, "Analysis of a Contactless ECG Monitoring System," *IETE Journal of Research*, vol. 67, no. 4, pp. 538-545, 2021.
- [23] A. Aftab, A. A. Quaiyum dan U. Shabana, "Design of Contactless Capacitive Electrocardiogram (ECG) Belt System," dalam *IEEE Delhi Section Conference (DELCON)*, New Delhi, India, 2022.
- [24] M. J. Ansari, A. Alam dan A. Q. Ansari, "Development of Contactless Dry ECG Electrodes for Long-Term Monitoring," dalam *9th International Conference on Computing for Sustainable Global Development (INDIACom)*, New Delhi, India, 2022.
- [25] A. Bujnowski, K. Osiński, P. Przystup dan J. Wtorek, "Non-Contact Monitoring of ECG in the Home Environment Selecting Optimal Electrode Configuration," *Sensors*, vol. 22, no. 23, p. 9475, 2022.
- [26] G. Wu, K. Wang, B. Feng, B. Shi, Z. Liu, G. Zuo dan C. Shi, "A highly integrated flexible array non-contact ECG sensing electrode based on FPC," dalam *8th International Conference on Intelligent Computing and Signal Processing (ICSP)*, Xi'an, China, 2023.
- [27] N. Ibrahim, R. Tomari, W. N. W. Zakaria dan N. Othman, "Non-contact Heart Rate Monitoring Analysis from Various Distances with different Face Regions," *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, vol. 7, no. 6, p. 3030, 2017.
- [28] S. K. A. Prakash dan C. S. Tucker., "Bounded Kalman filter method for motionrobust, non-contact heart rate estimation," *Biomedical optics express*, vol. 9, no. 2, pp. 873-897, 2018.
- [29] C. G. Viejo, S. Fuentes, D. D. Torrico dan F. R. Dunshea, "Non-Contact Heart Rate and Blood Pressure Estimations from Video Analysis and Machine Learning Modelling Applied to Food Sensory Responses: A Case Study for Chocolate," *Sensors*, vol. 18, no. 6, p. 1802, 2018.
- [30] C. Tang, J. Lu dan J. Liu, "Non-contact heart rate monitoring by combining convolutional neural network skin detection and remote photoplethysmography via a low-cost camera," dalam *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops*, Salt Lake City, UT, USA, 2018.
- [31] M. Das, T. Choudhary, M. K. Bhuyan dan L. N. Sharma, "Non-Contact Heart Rate Measurement From Facial Video Data Using a 2D-VMD Scheme," *IEEE Sensors Journal*, vol. 22, no. 11, pp. 11153-11161, 2022.
- [32] H. Li, H. Zhang dan X. Wang, "Vital Signs Detection Based On Millimeter Wave Radar," dalam *5th International Conference on Communication, Image and Signal Processing (CCISP)*, Chengdu, China, 2020.
- [33] Z. Xia, M. M. H. Shandhi, Y. Li, O. T. Inan dan Y. Zhang, "The Delineation of Fiducial Points for Non-contact Radar Seismocardiogram Signals without Concurrent ECG," *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, vol. 25, no. 4, pp. 1031-1040, 2020.
- [34] S. H. Oh, S. Lee, S. M. Kim dan J. H. Jeong, "Development of a heart rate detection algorithm using a non-contact doppler radar via signal elimination," *Biomedical Signal Processing and Control*, vol. 64, p. 102314, 2021.
- [35] Z. Ling, W. Zhou, Y. Ren, J. Wang dan L. Guo, "Non-Contact Heart Rate Monitoring Based on Millimeter Wave Radar," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 74033-74044, 2022.
- [36] D. Toda, R. Anzai, K. Ichige, R. Saito dan D. Ueki, "ECG Signal Reconstruction Using FMCW Radar and a Convolutional Neural Network for Contactless Vital-Sign Sensing," *IEICE Transactions on Communications*, vol. 106, no. 1, pp. 65-73, 2023.

- [37] J. Kranjec, S. Beguš, G. Geršak, M. Šinkovec, J. Drnovšek dan D. Hudoklin, “Design and Clinical Evaluation of a Non-Contact Heart Rate Variability Measuring Device,” *Sensors*, vol. 17, no. 11, p. 2637, 2017.
- [38] B. R. Hayes-Gill, T. R. Martin, C. Liu dan W. R. Cohen, “Relative accuracy of computerized intrapartum fetal heart rate pattern recognition by ultrasound and abdominal electrocardiogram detection,” *Acta Obstetricia et Gynecologica Scandinavica*, vol. 99, no. 3, pp. 413-422, 2020.
- [39] P. Hamelmann, M. Mischi, A. F. Kolen, J. O. V. Laar, R. Vullings dan J. W. Bergmans, “Fetal Heart Rate Monitoring Implemented by Dynamic Adaptation of Transmission Power of a Flexible Ultrasound Transducer Array,” *Sensors*, vol. 19, no. 5, p. 1195, 2019.
- [40] M. Ambrosanio, S. Franceschini, G. Grassini dan F. Baselice, “A Multi-Channel Ultrasound System for Non-Contact Heart Rate Monitoring,” *IEEE Sensors Journal*, vol. 20, no. 4, pp. 2064-2074, 2019.